

PEMANFAATAN LIMBAH NASI BASI MENJADI BIOETANOL SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Intan Nurul Zahriani

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: intannurulzahriani@gmail.com

Dwi Heru Sutjahjo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: dwiheru.c2h5oh@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan transportasi turut meningkatkan konsumsi bahan bakar sehingga menyebabkan kelangkaan. 10 tahun terakhir Indonesia mengalami penurunan produksi migas sehingga diperlukan energi alternatif seperti bioetanol. Masyarakat sering menyisakan limbah nasi yang mengandung karbohidrat dan bisa diubah menjadi alkohol. Penelitian ini bertujuan mengetahui perbandingan volume air, berat ragi dan waktu fermentasi untuk menghasilkan kadar bioetanol optimal serta pengujian karakteristik bioetanol. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan berat nasi basi 250 gram, volume air (750,1000,1250, 1500 ml), berat ragi (5, 7, 9, 11 gram) dan waktu fermentasi (3,4,5,6 hari) hingga diperoleh kadar bioetanol maksimal. Pembuatan bioetanol dilakukan dengan tahap sakarifikasi, fermentasi dengan *saccharomyces cerevisiae* serta distilasi suhu 78°C. Setelah diperoleh kadar >95%, dilakukan pengujian karakteristik sesuai Keputusan Dirjend Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Nomor 722K/10/DJE/2013. Data pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik disertai penjelasan secara distributif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan terbaik yaitu volume air 5000 ml, berat ragi 45 gram dan waktu fermentasi 5 hari dengan kadar bioetanol 29%. Selanjutnya dilakukan distilasi bertingkat untuk mencapai kadar 96,5% dengan penambahan *silica gel* 25 gram dan batu kapur 30 gram pada ujung kondensor sebagai penyerap kadar air. Hasil karakteristik bioetanol limbah nasi basi yaitu kadar bioetanol 96,5%, kadar metanol 0,00103%-v, kadar air 0,7726%-v, kadar tembaga 0,0067 mg/kg, keasaman sebagai asam asetat 2 mg/L, tampakan jernih, tidak ada endapan, kadar ion klorida 0 mg/L, kandungan belerang 50 mg/L, kadar getah 1,2 mg/100ml, nilai kalor 5724 kkal/kg, titik nyala 30°C, titik beku -50°C, densitas 0,808 gr/cm³, viskositas 3,5 cPs dan pH 7,55. Terdapat beberapa karakteristik yang melebihi standar Dirjen Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Nomor 722K/10/DJE/2013 yaitu kadar belerang dan kadar air yang diduga karena pada alat distilasi mengandung berbagai unsur paduan logam serta bahan baku yang sudah mengandung kadar air tinggi yaitu 57%. Secara perhitungan ekonomis bioetanol limbah nasi basi lebih mahal dari pada bioetanol di pasaran karena proses pembuatannya masih skala kecil.

Kata Kunci: Bioetanol, *saccharomyces cerevisiae*, sakarifikasi, fermentasi, distilasi.

Abstract

Increased of transportation needs also increase the fuel consumption so causing scarcity. In the last 10 years, Indonesia has decreased oil and gas production therefore it needs alternative energy such as bioethanol. Community activities often leaving waste stale rice containing carbohydrates and can be converted into alcohol. This research aims to knowing comparison of water volume, yeast weight, fermentation time to produce optimal bioethanol content and testing of bioethanol characteristic. This research uses experimental method with stale rice weight 250 gram with stale rice 250 grams, water volume (750, 1000, 1250, 1500 milliliters), yeast (5, 7, 9, 11 grams) and time fermentations (3, 4, 5, 6 days) to obtained a maximum bioethanol content. Bioethanol production is processed by the stage of saccharification, fermentation with *saccharomyces cerevisiae* and distillation at temperature of 78 °C. After content of bioethanol obtained at >95%, conducted characteristic testing according to the decision of the new energy director general, renewable and energy conservation number 722K/10/DJE/2013. Test data results are presented in the form of tables and charts with distributive explanations. The research results showed that the best comparison of water is 5000 milliliters, 45 grams yeast and 5 days fermentation time with 29% bioethanol content. Furthermore multilevel distillation to reach levels of 96,5% with the addition of 25 grams silica gel and limestone 30 grams at the end of the condenser as absorbent moisture content. The result examination of bioethanol characteristic of stale rice waste that is bioethanol content 96,5%, methanol 0,00103%-v, water content 0,7726%-v, copper content 0,0067 mg/kg, acidity as acetic acid 2 mg/L, brightness, no sediment, 0 mg/L chloride ion content, 50 mg/L sulfur content, gum washed content 1.2 mg/100ml, heating value 5724 kcal / kg, flash point 30°C, pour

point -50°C , density $0,808\text{ gr/cm}^3$, viscosity $3,5\text{ cPs}$ and pH $7,55$. There are several characteristics that exceed the standard specified by the Director General of New Energy, Renewable Energy and Conservation No. 722K / 10 / DJE / 2013 that is the sulfur content and water content which is suspected because the distillation apparatus contains various elements of metal alloy and raw material which already contains high water content that is 57%. The econometric calculation of bioethanol from stale rice waste is more expensive than the bioethanol in the market because the process of manufacture is still small scale.

Keywords: Bioethanol, *saccharomyces cerevisiae*, saccharification, fermentation, distillation.

PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia abad 20 ke atas semakin meningkat seiring perkembangan zaman terutama kebutuhan transportasi. Peningkatan jumlah kendaraan mempengaruhi peningkatan konsumsi bahan bakar minyak sehingga menjadi langka. Sejak tahun 1990 produksi minyak di Indonesia menurun sehingga menyebabkan Indonesia menjadi importer minyak.

Tabel 1. Produksi dan Konsumsi Minyak Bumi Indonesia dalam Ribuan barrels per day

Tahun	Produksi (bpd)		Konsumsi (bpd)
	BP Global	SKK Migas	
2006	996	1.006	1.244
2007	972	954	1.318
2008	1003	977	1.287
2009	990	949	1.297
2010	1.003	945	1.402
2011	942	900	1.589
2012	918	860	1.631
2013	882	826	1.643
2014	852	794	1.676
2015	825	786	1.628

Sumber: *Statistical Review of World Energy 2016*

Dari tabel tersebut diketahui bahwa konsumsi tidak sebanding dengan produksi minyak bumi di Indonesia. Oleh sebab itu diperlukan energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Kemajuan teknologi bahan bakar mencapai tahap pengembangan energi alternatif dengan memanfaatkan sumber daya alam. Bahan bakar alternatif juga menjadi alternatif keramahan lingkungan karena tidak menimbulkan CO_2 di atmosfer.

Bahan bakar alternatif yang banyak digunakan adalah bioethanol karena memiliki prospek yang bagus dengan menggunakan bahan pangan seperti buah, ubi, tebu, kelapa sawit, jagung dan bahan pati lainnya. Bioethanol merupakan cairan biokimia hasil proses fermentasi gula dari karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme (Prihandana, 2011).

Salah satu makanan pokok di Indonesia adalah nasi. Tidak jarang ditemui di warung makan, restoran, hotel, asrama pendidikan, rumah tangga menyisakan nasi basi. Nasi termasuk bahan organik yang dapat membusuk karena aktifitas bakteri pengurai yang memfermentasikan zat gula. Apabila diakumulasi dalam sehari bisa

mencapai ton-tonan, padahal karbohidrat 40% di dalamnya dapat dijadikan sebagai bahan baku bioethanol.

Tabel 2. Kandungan Gizi dalam 100 gram Nasi Putih

Kandungan	Jumlah (%)
Energi	1,527 kJ
Karbohidrat	40,6 gr
Protein	2,1 gr
Lemak	0,1 gr
Air	57,0 gr

Sumber: Anna Poedijiadi, 1994

Pada penelitian ini menggunakan limbah nasi basi yang difermentasi pada kondisi anaerob. Menurut Riadi (2007), fermentasi adalah reaksi dengan menggunakan biokatalis bakteri, *yeast* atau jamur untuk mengubah bahan baku menjadi produk. Prosesnya dilakukan dalam sebuah bejana yang disebut dengan bioreaktor atau fermentator. Pada saat fermentasi dilakukan variasi pada volume air, berat ragi serta waktu fermentasi. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Wenda Erika Putri (2011), pembuatan bioethanol dari limbah tepung beras *rose brand* dengan berat ragi 9 gram menghasilkan kadar bioethanol sebesar 29%.

Setelah difermentasi, cairan hasil fermentasi didistilasi untuk memisahkan air dan etanol yang tercampur. Menurut Winkle (1967) proses distilasi digunakan untuk memisahkan senyawa atau campuran senyawa dengan memanfaatkan perbedaan volatilitas atau tekanan uapnya. Pada penelitian ini, suhu distilasi dijaga konstan 78°C sesuai titik didih bioethanol.

Berat ragi ditentukan berdasarkan penelitian oleh Wenda Erika Putri 2011 pembuatan bioethanol dari limbah tepung beras *Rose Brand* yaitu ragi 9 gr. Waktu fermentasi ditetapkan 5 hari berdasarkan penelitian oleh Himawan Sugiarto 2016 yaitu pembuatan bioethanol dari limbah ledre. Berat limbah yaitu 250 gr berdasarkan penelitian Zainal Abidin 2016 pembuatan bioethanol dari limbah blotong.

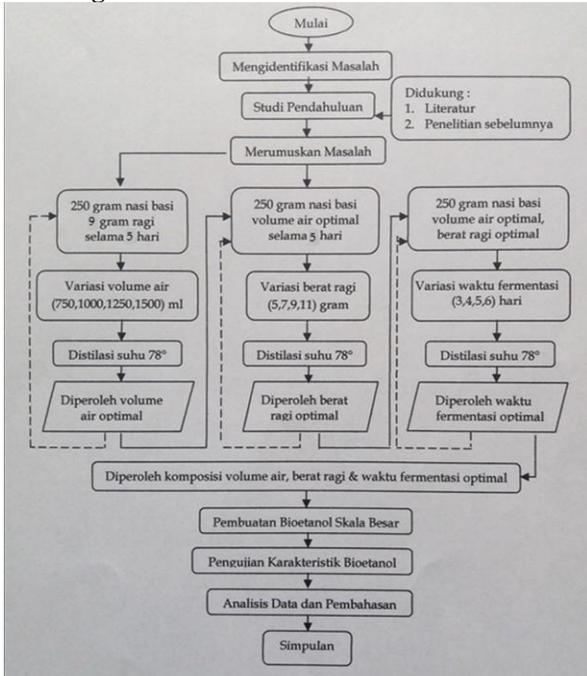
Penelitian jenis eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan parameter terbaik pada variasi volume air, berat ragi, waktu fermentasi serta pengujian karakteristik bioethanol limbah nasi basi berdasarkan keputusan Dirjen Energi Baru, Terbarukan dan Konversi Energi Tahun 2013.

Hasil penelitian ini diharapkan bahwa limbah nasi basi dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak serta dijadikan referensi

dalam pengembangan tentang bahan bakar alternatif lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Sedangkan pengujian karakteristik bioetanol dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya, Laboratorium Teknologi Air Kimia Industri Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh November dan Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya.

Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah volume air (750 ml, 1000 ml, 1250 ml, 1500 ml), berat ragi (5 gram, 7 gram, 9 gram 11 gram) dan waktu fermentasi (3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari).

b. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah perbandingan parameter terbaik pada tiap variasi dan karakteristik bioetanol yang diperoleh dari hasil pengujian yang meliputi kadar bioetanol, kadar metanol, kadar air, kadar tembaga, keasaman sebagai asam asetat, tampakan, kadar ion klorida, kandungan belerang dan kadar getah (dicuci), titik nyala, titik beku, nilai kalor, densitas, viskositas dan pH.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah bakteri yang digunakan adalah ragi jenis *saccharomyces cerevisiae*, berat limbah nasi 250 gram, suhu pada fermentasi 30° C dan suhu pada distilasi 78° C.

Bahan, Alat dan Instrumen Penelitian

a. Bahan Penelitian

1. Limbah nasi basi



Gambar 2. Limbah Nasi Basi

2. Ragi tape *saccharomyces cerevisiae*



Gambar 3. Ragi Tape Merck NKL (Na Kok Liang)

3. Air

4. Es batu

5. Garam

6. Silica gel

7. Batu kapur

b. Alat Penelitian

1. Jirigen sebagai tempat fermentasi

2. Kompor listrik sebagai sumber pemanas distilasi

3. Panci sebagai wadah mendidihkan limbah nasi.

4. Corong untuk menuangkan cairan bioetanol ke dalam labu distilasi.

5. Selang air untuk mengalirkan air dingin pada pipa luar kondensor sebagai media kondensasi.

6. Pompa untuk memompa atau mensirkulasikan air dingin menuju *condensor liebigh*

7. Ember sebagai wadah air yang disirkulasikan pada kondensor dalam proses kodensasi.

8. Botol untuk menampung cairan hasil fermentasi dan sebagai wadah penyimpanan hasil distilasi.

9. Labu distilasi digunakan sebagai wadah cairan pada saat proses distilasi



Gambar 4. Labu Distilasi Kapasitas 1 Liter

10. Kondensor digunakan untuk mengembunkan uap distilasi hingga menjadi cair.



Gambar 5. Condensor Liebig

11. *Bend connector* digunakan sebagai alat bantu penghubung saluran uap bioetanol dari labu distilasi masuk ke kondensor.



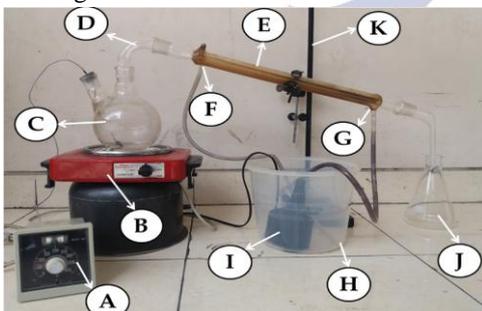
Gambar 6. Bend Connector

12. Labu erlenmeyer untuk menampung cairan hasil distilasi.



Gambar 7. Labu Erlenmeyer

c. Rangkaian Alat Distilasi



Gambar 8. Rangkaian Alat Distilasi

Keterangan:

- Thermocontrol*
- Kompor listrik
- Labu distilasi
- Connector*
- Condensor liebig*
- Selang *in*
- Selang *out*
- Ember
- Pompa

j) Labu *Erlenmeyer*

k) Penyangga

d. Instrumen Penelitian

1. Timbangan digital merk ACIS, kapasitas 5000 gr, ketelitian 0,01 gr.



Gambar 9. Timbangan Digital

2. *Thermocontrol* untuk mengontrol suhu pada proses distilasi agar tetap terjaga 78° C. *Thermocontrol* tersebut disertai dengan *thermocouple* sebagai sensor pendeteksi suhu.



Gambar 10. Thermocontrol

3. Gelas *Beaker* Merk Iwaki



Gambar 11. Gelas *Beaker* 1000ml, 500ml, 200ml

4. Gelas Ukur Merk Iwaki



Gambar 12. Gelas Ukur 100 ml dan 250 ml

5. Alkoholmeter untuk mengukur kadar boetanol.



Gambar 13. Alkoholmeter

6. *Gas Chromatography* (ASTM D 5501) uji kadar metanol
7. *Coulometric Karl Fischer Titration* (ASTM D 6304) uji kadar air
8. *High Performance Liquid Chromatography* (ASTM D 7304) uji kadar denaturan
9. *Atomic Absorption Spectrophotometry* (ASTM D 1688) uji kadar tembaga
10. *Potentiometric Titration* (ASTM D 664) uji keasaman sebagai asam asetat
11. Spektrofotometer (ASTM D 512) uji kadar ion klorida
12. *Wave Length Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry* (ASTM D 2622) uji kadar belerang
13. *Jet Evaporation* (ASTM D 381) uji kadar getah
14. *Bomb Calorimeter* (ASTM D 240) uji nilai kalor
15. *Open Cup Flash Point Tester* (ASTM D 93) uji titik nyala
16. *Semi Automatic Pour Point* (ASTM D 97) uji titik beku
17. Piknometer (ASTM D 1298) uji densitas
18. Viskosimeter (ASTM D 445) uji viskositas
19. pH meter (ASTM D 6423) uji pH

Prosedur Penelitian

- a. Tahap Persiapan
 - 1) Mengumpulkan bahan baku seperti limbah nasi basi, ragi tape dan air.
 - 2) Menyiapkan alat dan instrumen penelitian .
 - 3) Menimbang berat limbah nasi basi dan ragi sesuai variasi.
- b. Tahap Sakarifikasi
 - 1) Melembutkan nasi basi dengan blender
 - 2) Mensakarifikasi nasi basi dengan air hingga mendidih
 - 3) Mengaduk bubur nasi basi yang sudah disakarifikasi dengan air kemudian didinginkan di ember.
- c. Tahap Fermentasi
 - 1) Menyiapkan jirigen tempat proses fermentasi.
 - 2) Menambahkan ragi ke setiap sampel bubur nasi basi yang sudah disakarifikasi.

- 3) Menutup rapat jirigen dan dipastikan tidak ada kebocoran karena difermentasi secara *anaerob*.
- 4) Setiap sampel difermentasi sesuai ketentuan variasinya.
- 5) Apabila setiap sampel sudah difermentasi sesuai harinya, jirigen dibuka kemudian cairan fermentasi disaring untuk memisahkan ampasnya.

d. Tahap Distilasi

- 1) Menyiapkan peralatan seperti *thermocontrol*, kompor listrik, labu distilasi kapasitas 1000 ml, *connector*, *bend tube*, *condensor leibieg*, labu *erlenmeyer* kapasitas 250 ml, pompa aquarium, selang air, ember, isolasi, air dan es batu.
- 2) Merangkai labu distilasi dengan *connector*, *condensor* dan *erlenmeyer*.
- 3) Merangkai pompa, selang air *in* dan *out* menuju ke kondensor.
- 4) Memasukkan cairan bioetanol ke labu distilasi kemudian lubang lengan yang satunya ditutup dengan karet *thermocouple*.
- 5) Menyambungkan *thermocontrol* dengan kompor listrik kemudian mengontrol suhu dalam labu.
- 6) Menyalakan *thermocontrol* pada suhu 78° C.
- 7) Menunggu cairan distilasi menetes ke labu *erlenmeyer* hingga diperoleh 80-100 ml.
- 8) Memasukkan cairan bioetanol ke dalam gelas ukur.
- 9) Menguji kadar bioetanol dengan alkoholmeter.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik eksperimen dengan melakukan percobaan terhadap objek yang akan diteliti kemudian dilakukan pengujian sehingga diperoleh data-data yang diperlukan. Data yang diperlukan yaitu perbandingan komposisi volume air, berat ragi dan lama waktu fermentasi sesuai pembuatan bioetanol dari limbah nasi basi agar mencapai kadar bioetanol yang optimal. Selain itu data pengujian lain yang diperlukan adalah karakteristik bioetanol seperti kadar bioetanol, kadar metanol, kadar air, kadar denaturan, kadar tembaga, keasaman sebagai asam asetat, tampakan, kadar ion klorida, kandungan belerang, kadar getah (dicuci), nilai kalor, titik nyala, titik beku, densitas, viskositas dan pH.

Teknik Analisa Data

Teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisis data pada penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif yaitu berdasarkan pengumpulan data atau informasi dari setiap perubahan yang terjadi saat eksperimen secara langsung. Dari data tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dengan disertai penjelasan secara distributif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

a. Perbandingan Volume Air, Berat Ragi dan Waktu Fermentasi

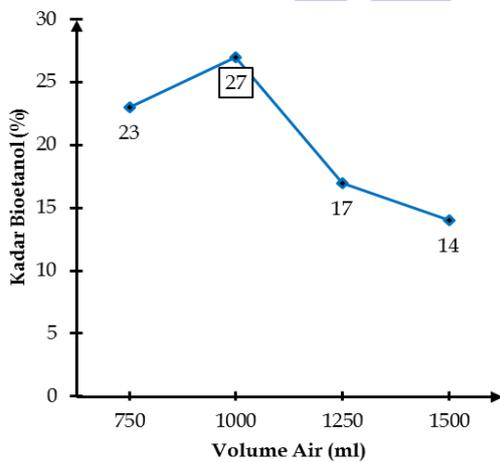
1. Volume Air

Hasil penelitian tahap pertama adalah mencari parameter volume air dengan dilakukan variasi 750 ml, 1000 ml, 1250 ml, 1500 ml serta berat ragi 9 gram dan waktu fermentasi 5 hari.

Tabel 3. Kadar Bioetanol pada Variasi Volume Air

Nasi Basi	Ragi	Waktu Fermentasi	Air	Kadar
250 gr	9 gr	5 hari	750 ml	23%
250 gr	9 gr	5 hari	1000 ml	27%
250 gr	9 gr	5 hari	1250 ml	17%
250 gr	9 gr	5 hari	1500 ml	14%

Data tersebut dapat dibuat grafik seperti berikut:



Gambar 14. Grafik Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Volume Air

Dari data tersebut, maka perbandingan 250 gr nasi basi, ragi 9 gr, waktu fermentasi 5 hari dan volume air 1000 ml menghasilkan bioetanol dengan kadar optimal 27%.

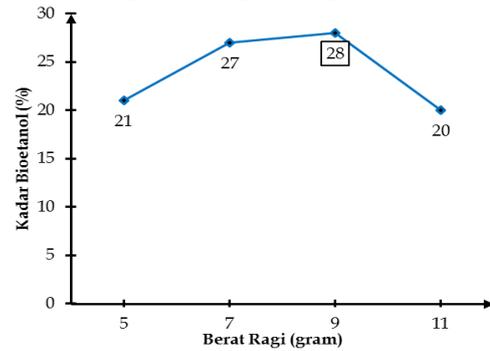
2. Berat Ragi

Hasil penelitian tahap kedua adalah mencari parameter berat ragi optimal dengan dilakukan variasi 5 gram, 7 gram, 9 gram, 11 gram serta waktu fermentasi 5 hari dan volume air optimal sesuai penelitian tahap pertama.

Tabel 4. Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Berat Ragi

Nasi Basi	Air	Waktu Fermentasi	Ragi	Kadar
250 gr	1000 ml	5 hari	5 gr	21%
250 gr	1000 ml	5 hari	7 gr	27%
250 gr	1000 ml	5 hari	9 gr	28%
250 gr	1000 ml	5 hari	11 gr	20%

Data tersebut dapat dibuat grafik seperti berikut:



Gambar 15. Grafik Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Berat Ragi

Dari data tersebut, maka perbandingan 250 gr nasi basi dengan waktu fermentasi 5 hari, volume air 1000 ml dan berat ragi 9 gr menghasilkan bioetanol dengan kadar optimal 28%.

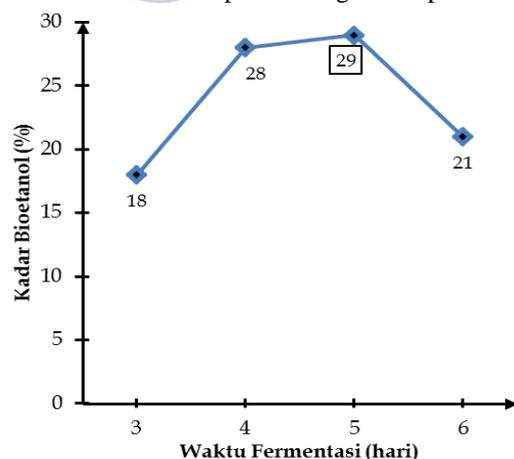
3. Waktu Fermentasi

Hasil penelitian tahap ketiga adalah mencari parameter waktu fermentasi dengan dilakukan variasi 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari serta berat ragi dan volume air yang digunakan yaitu sesuai data yang diperoleh dari penelitian tahap pertama dan kedua.

Tabel 5. Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Waktu Fermentasi

Nasi Basi	Air	Ragi	Waktu Fermentasi	Kadar
250 gr	1000 ml	9 gr	3 hari	18%
250 gr	1000 ml	9 gr	4 hari	28%
250 gr	1000 ml	9 gr	5 hari	29%
250 gr	1000 ml	9 gr	6 hari	21%

Data tersebut dapat dibuat grafik seperti berikut:



Gambar 16. Grafik Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Waktu Fermentasi

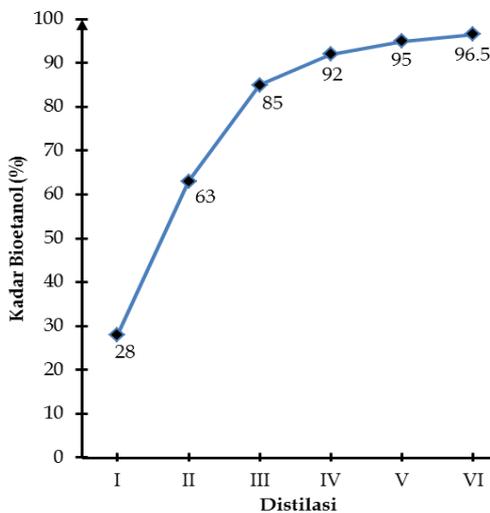
Dari data tersebut, maka perbandingan 250 gr nasi basi, waktu fermentasi 5 hari, volume air 1000 ml dan berat ragi 9 gr menghasilkan bioetanol dengan kadar optimal 28%.

b. Pembuatan Bioetanol Skala Besar

Dalam pembuatan skala besar digunakan 1250 gr limbah nasi basi, 5000 ml air, 45 gr ragi, fermentasi selama 5 hari menghasilkan 1250 ml bioetanol dengan kadar 28%. Alat yang digunakan yaitu alat distilasi kapasitas 5L. Untuk menaikkan kadar bioetanol tersebut menjadi kadar >95%, dibutuhkan 6 kali distilasi dengan penambahan *silica gel*, batu kapur dan garam pada proses distilasi selanjutnya. Berikut adalah tabel dan grafik persentase kenaikan kadar bioetanol hasil distilasi bertingkat:

Tabel 6. Kenaikan Kadar Bioetanol Hasil Distilasi Bertingkat

No	Distilasi ke-	Jumlah Bioetanol	Kadar Bioetanol
1.	I	1250 ml	28%
2.	II	550 ml	63%
3.	III	410 ml	85%
4.	IV	375 ml	92%
5.	V	350 ml	95%
6.	VI	330 ml	96,5%



Gambar 17. Grafik Kenaikan Kadar Bioetanol Hasil Distilasi Bertingkat

Dari data pada tabel dan grafik di atas, dapat diketahui bahwa dalam satu kali produksi bioetanol berkapasitas 5 liter dapat menghasilkan 330 ml dengan kadar 96,5%. Sehingga dalam 1 kg limbah nasi basi dapat menghasilkan bioetanol kadar 96,5% sebanyak kurang lebih 264 ml berdasarkan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Limbah nasi basi } 1250 \text{ gram} &= 330 \text{ ml} \\
 \text{Limbah nasi basi } 1000 \text{ gram} &= \dots \text{ ml} \\
 1250 \text{ gram} \times \dots \text{ ml} &= 1000 \text{ gram} \times 330 \text{ ml} \\
 X \text{ ml} &= \frac{1000 \text{ gram} \times 330 \text{ ml}}{1250 \text{ gram}} \\
 &= 264 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut juga dapat diketahui bahwa untuk memperoleh bioetanol dengan kadar 96,5% sebanyak 1 liter maka dibutuhkan sekitar kurang lebih 4 kali proses distilasi skala besar.

c. Karakteristik Bioetanol Limbah Nasi Basi

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik bioetanol limbah nasi basi, dapat diperoleh data dalam tabel berikut:

Tabel 7. Perbandingan Karakteristik Bioetanol Limbah Nasi Basi dengan Standar Baku Mutu Bioetanol

No	Karakteristik	Standar	Bioetanol Limbah Nasi
1	Kadar Bioetanol (%-v)	min 94 setelah denaturasi HC. ^(a)	96,5 ^(f)
2	Kadar Metanol (%-v)	max 0,5 ^(a)	0,00103 ^(g)
3	Kadar Air (%-v)	max 0,7 ^(a)	0,7726 ^(h)
4	Kadar Tembaga (mg/kg)	max 0,1 ^(a)	0,0067 ^(g)
5	Keasaman sebagai Asam Asetat (mg/L)	max 30 ^(a)	2 ^(h)
6	Tampakan	Jernih, terang, tanpa endapan ^(a)	Clear ^(h)
7	Kadar Ion Klorida (mg/L)	max 20 ^(a)	Tidak terdeteksi ^(g)
8	Kadar Belerang (mg/L)	max 50 ^(a)	50 ^(h)
9	Kadar Getah (mg/100 ml)	max 5,0 ^(a)	1,2 ^(h)
10	Nilai Kalor (kkal/kg)	6380 ^(c)	5724 ⁽ⁱ⁾
11	Titik Nyala (°C)	12 ^(d)	30 ⁽ⁱ⁾
12	Titik Beku (°C)	-17,2 ^(c)	-50° ^(h)
13	Densitas (gr/cm ³)	0,789 ^(e)	0,808 ^(f)
14	Viskositas (cPs)	1,523 ^(d)	3,5 ⁽ⁱ⁾
15	pH	6,5-9 ^(b)	7,55 ^(f)

Keterangan:

- a) Dirjen Energi Baru, Terbarukan dan Konversi Energi Tahun 2013
- b) Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Tahun 2008
- c) A. Hardjono, 2001
- d) Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety Home
- e) George Granger Brown, 1973
- f) Lab. Bahan Bakar dan Pelumas Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya
- g) Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya
- h) Lab. Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya
- i) Lab. Teknologi Air dan Konsultasi Industri Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh November

Pembahasan Hasil Penelitian

a. Perbandingan Volume Air, Berat Ragi dan Waktu Fermentasi

Berdasarkan data pada tabel 3 dapat diketahui bahwa parameter volume air optimal adalah 1000 ml dari beberapa variasi volume air yaitu 750 ml, 1000 ml, 1250 ml dan 1500 ml. Hal ini menunjukkan bahwa apabila penambahan air terlalu banyak akan menyebabkan cairan hasil fermentasi terlalu encer dan lebih mengandung banyak air sedangkan apabila penambahan airnya sedikit akan menyebabkan cairan terlalu kental sehingga bakteri dalam ragi tidak bisa berkembang biak kemudian tidak mampu mengubah glukosa menjadi alkohol.

Dari hasil proses distilasi pada tabel 4, dapat disimpulkan bahwa berat ragi paling optimal adalah 9 gr di antara variasi 5 gr, 7 gr, 9 gr dan 11 gr. Hal tersebut dikarenakan apabila ragi yang digunakan terlalu banyak menyebabkan kadar glukosanya rusak sehingga kadar alkohol akan menurun. Begitu pun sebaliknya, apabila penambahan ragi terlalu sedikit akan menghasilkan bioetanol dengan kadar yang kurang maksimal.

Berdasarkan data pada tabel 5, dapat diketahui bahwa kadar bioetanol tertinggi yaitu 29% pada sampel yang difermentasi selama 5 hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi yang dilakukan maka cairan fermentasi akan menghasilkan asam cuka sehingga kadar bioetanol semakin menurun. Apabila waktu fermentasi terlalu singkat maka cairan yang difermentasi belum membentuk alkohol secara optimal.

b. Proses Distilasi

Pada penelitian ini dilakukan distilasi bertingkat 6 kali untuk mencapai kadar bioetanol 96,5%. Dalam kondisi ini antara bioetanol dengan air sulit dipisahkan karena kedua komponen berada pada kondisi azeotrop dimana kedua komponen tersebut (bioetanol dan air) titik didihnya berselisih dekat. Dari kondisi tersebut maka dilakukan pemisahan dua komponen melalui distilasi dengan penambahan garam pada cairan distilat. Garam berperan sebagai komponen yang akan menaikkan titik didih air karena garam mudah larut dalam air sehingga jarak titik didih antara bioetanol dengan air semakin berjauhan dan bioetanol dapat terpisah dari air. Garam yang ditambahkan yaitu sebesar 10% gram dari volume cairan yang didistilasi supaya etanol yang dihasilkan tidak mengandung klorida yang tinggi. Selain itu juga dilakukan penambahan media penyerap air seperti *silica gel*. *Silica gel* diletakkan pada ujung *condensor liebig*. *Silica gel* mampu menyerap air dalam bentuk uap dikarenakan rongga-rongga pada *silica gel* mampu menangkap molekul air yang lebih besar dari pada molekul bioetanol.

Selanjutnya dilakukan penambahan batu kapur atau CaO yang berfungsi untuk menaikkan kadar bioetanol >95% mendekati bioetanol murni. Sifat CaO mampu menyerap air sehingga kadar bioetanol meningkat. Pada penelitian ini batu kapur dihaluskan kemudian diletakkan di ujung kondensor agar uap air diserap oleh batu kapur.

c. Analisis Karakteristik Bioetanol Limbah Nasi Basi

1) Kadar Bioetanol

Pengujian kadar bioetanol dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Jurusan Teknik Mesin UNESA menggunakan instrumen alkoholmeter berdasarkan metode ASTM D 5501. Dari pengukuran tersebut diperoleh hasil bioetanol dengan kadar 96,5%. Hal ini disebabkan karena pada bioetanol dari limbah nasi basi masih terdapat kandungan air, metanol, sulfur, tembaga, belerang dan lain-lain. Semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan maka semakin baik karakteristiknya dan semakin mendekati bioetanol murni.

2) Kadar Metanol

Pengujian kadar metanol dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya menggunakan instrumen *gas chromatograph* berdasarkan metode ASTM D 5501. Dari tabel 7 di atas, dapat diketahui bahwa hasil pengujian kadar metanol yaitu 0,00103 %-v. Dibandingkan dengan standar baku mutu bioetanol, kadar metanol dari limbah nasi basi ini lebih rendah sehingga beresiko kecil pada terjadinya korosi.

3) Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya menggunakan instrumen *Coulometric Fischer Titration* berdasarkan metode ASTM D 6304. Dari hasil pengujian diketahui bahwa kadar air pada bioetanol dari limbah nasi basi sebesar 0,7226%-v, sedangkan standarnya maksimal 0,7 %-v. Hal tersebut menunjukkan bahwa bioetanol tersebut masih memiliki kadar air yang melebihi standar bioetanol yang telah ditetapkan sehingga memiliki resiko korosif. Hal tersebut terjadi karena proses distilasi masih konvensional serta pada bahan bakunya sendiri sudah mengandung air 57%. Tidak hanya itu, kadar air yang tinggi diduga disebabkan karena tidak dilakukan aktifasi dan pengujian pada absorben batu kapur terlebih dahulu.

4) Kadar Tembaga

Pengujian kadar tembaga dilakukan di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer* berdasarkan metode ASTM D 1688. Kadar tembaga muncul dari proses distilasi

yang menggunakan alat berbahan logam. Suhu tinggi pada proses distilasi menyebabkan pori-pori logam membuka sehingga logam dalam ukuran sangat kecil atau serbuk terlarut dalam cairan hasil bioetanol. Bioetanol dengan kadar tembaga yang tinggi akan merusak dinding ruang bakar karena tembaga akan menggores dinding ruang bakar sesuai gerakan piston. Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa kadar tembaga bioetanol dari limbah nasi yaitu sebesar 0,0067 mg/kg dibawah standar yang ditetapkan oleh Dirjend Energi Baru Terbarukan Konversi Energi Tahun 2013. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bioetanol dari limbah nasi basi beresiko kecil pada terjadinya kerusakan dinding mesin ruang bakar.

5) Keasaman sebagai Asam Asetat

Pengujian karakteristik keasaman dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya menggunakan instrumen *Potentiometric Titration* berdasarkan metode ASTM D 664. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa kadar keasaman sebagai CH_3COOH bioetanol dari limbah nasi basi sebesar 2 mg/L sedangkan standar baku mutu bioetanol sebesar 30 mg/L. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa risiko korosi pada bioetanol dari limbah nasi basi lebih rendah.

6) Tampilan

Pengujian tampilan dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya dengan metode visual (penglihatan). Apabila terdapat kotoran dalam bioetanol akan menyebabkan penyumbatan pada saluran atau pompa bahan bakar sehingga proses pembakaran kurang maksimal atau terganggu dan endapan ikut terbakar dalam ruang bakar. Berdasarkan hasil pengujian tampilan dapat diketahui bahwa tampilan dari bioetanol dari limbah nasi basi adalah *clear* atau jernih dan terang, tidak ada kotoran dan endapan.

7) Kadar Ion Klorida

Pengujian kadar ion klorida dilakukan di Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya menggunakan *spektrofotometer* berdasarkan metode ASTM D 512. Semakin rendah kadar ion klorida dalam suatu bahan bakar maka semakin baik kualitasnya. Dari hasil pengujian karakteristik bioetanol, dapat diketahui bahwa kadar ion klorida dalam bioetanol limbah nasi adalah tidak terdeteksi sehingga resiko korosif dapat dihindari. Tidak terdeteksinya ion klorida disebabkan karena penambahan garam yang dilakukan sangat sedikit pada saat proses distilasi.

8) Kandungan Belerang

Pengujian kandungan sulfur atau belerang dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya dengan menggunakan instrumen *X-ray Fluorescence Spectrometry* berdasarkan metode ASTM D 4294. Kandungan belerang yang tinggi akan menimbulkan lapisan kerak pada mesin atau ruang bakar, tangki bahan bakar, *intake manifold* dan knalpot. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik bioetanol, dapat diketahui bahwa kandungan belerang bioetanol dari limbah nasi basi yaitu sebesar 50 mg/L sesuai standart batas maksimal pada Keputusan Direktur Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Nomor 722 K/10/DJE/2013. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada bioetanol dari limbah nasi basi bisa jadi beresiko terjadinya lapisan kerak dalam jangka waktu tertentu namun masih dalam batas yang diijinkan.

9) Kadar Getah

Pengujian kadar getah dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya menggunakan *jet evaporation* berdasarkan metode ASTM D 381. Kadar getah yang tinggi dapat mengendap dan lengket pada katup masuk dan menyumbat *filter* bahan bakar.

Dari hasil pengujian karakteristik bioetanol, dapat diketahui bahwa kadar getah *gum* (dicuci) pada bioetanol dari limbah nasi basi yaitu sebesar 1,2 mg/100ml sedangkan standar yang diijinkan adalah maksimal 5 mg/100ml. Kadar getah tersebut masih dalam batas ambang standar baku mutu bioetanol yang ditentukan oleh Direktur Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Nomor 722 K/10/DJE/2013.

10) Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh November menggunakan *Bomb Calorimeter* berdasarkan metode ASTM D 240. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka semakin sedikit pemakaian bahan bakar tersebut. Dari hasil pengujian nilai kalor dapat diketahui bahwa nilai kalor pada bioetanol dari limbah nasi basi adalah 5724 Kkal/kg. Pada bioetanol murni nilai kalornya sebesar 6380 kkal/kg sehingga dapat disimpulkan bahwa energi yang dihasilkan dari bioetanol limbah nasi basi lebih rendah dari energi yang dihasilkan dari bioetanol murni.

11) Titik Nyala

Pengujian titik nyala (*flash point*) juga dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh November menggunakan *open cup flash*

point tester berdasarkan metode ASTM D 93. Hasil pengujian titik nyala diketahui bahwa titik nyala pada bioetanol dari limbah nasi basi adalah 30°C sedangkan pada bioetanol murni yaitu 12° C sehingga bioetanol dari limbah nasi lebih sulit terbakar karena masih mengandung kadar air. Apabila semakin rendah titik nyala suatu bahan bakar maka bahan bakar tersebut semakin mudah terbakar.

12) Titik Beku

Pengujian titik beku (*pour point*) dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya dengan menggunakan *Semi Automatic Pour Point* berdasarkan metode ASTM D 97. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai titik beku bioetanol dari limbah nasi yaitu -50° C sehingga dapat digunakan pada daerah yang memiliki suhu dibawah 0° C.

13) Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh November menggunakan alat *viscometer* berdasarkan metode ASTM D 445. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diketahui bahwa nilai viskositas bioetanol limbah nasi basi adalah 3,5 cPs. Pada bioetanol murni memiliki viskositas sebesar 1,523 cPs. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa bioetanol dari limbah nasi lebih kental dibandingkan dengan bioetanol murni.

14) Densitas

Pengujian densitas dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya menggunakan alat ukur piknometer berdasarkan ASTM D 1298. Densitas bioetanol murni pada kadar 99,4% adalah 0,789 gr/cm³. Semakin kecil nilai densitas maka semakin baik kualitas bioetanol tersebut. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa densitas pada bioetanol dari limbah nasi basi yaitu sebesar 0,808 gr/cm³ lebih tinggi dari bioetanol murni 0,789 gr/cm³. Hal ini disebabkan karena masih terdapat kandungan air pada bioetanol dari limbah nasi.

15) pH

Pengujian pH dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya menggunakan alat ukur pH meter berdasarkan ASTM 6423. Berdasarkan pengujian, dapat diketahui bahwa nilai pH pada bioetanol limbah nasi basi yaitu 7,55 sedangkan pada standar yang diijinkan yaitu 6,5–9 sehingga dapat disimpulkan bahwa bioetanol dari limbah nasi lebih kecil bersifat korosif.

d. Perhitungan Ekonomis

1) Biaya Bahan Baku

Dalam satu kali proses pembuatan bioetanol skala besar dibutuhkan 1250 gr nasi basi. Harga limbah nasi basi tiap kilo gramnya adalah **Rp. 0**.

2) Biaya Proses Fermentasi

Pembuatan bioetanol skala besar dibutuhkan limbah nasi basi sebesar 1250 gr, air 5000 ml dan ragi 45 gr. Harga ragi di pasaran umumnya yaitu Rp. 7.500 per bungkus dengan berat 75 gram. Sehingga harga ragi per gram adalah Rp. 100. Dalam pembuatan bioetanol skala besar dibutuhkan 45 gr ragi sehingga dapat dihitung bahwa biaya ragi adalah **Rp. 4500**.

3) Biaya Proses Distilasi

Harga listrik per 1 Kwh adalah Rp. 845 sehingga dapat dihitung biaya listrik tiap 1 watt adalah Rp. 0,845. Pada penelitian ini menggunakan dua kompor listrik 1200 watt untuk distilasi skala besar dengan kapasitas 5,5 liter dan kompor listrik 300 watt untuk distilasi kapasitas 1 liter sehingga dapat diketahui bahwa biaya listrik per jam kompor 1200 watt adalah Rp. 1.014 dan biaya listrik per jam kompor 300 watt adalah Rp. 253,5.

Tabel 8. Rincian Biaya Listrik

No	Distilasi	Waktu (jam)	Biaya (watt/jam)
1.	I Kompor 1200 w	7	7.098
2.	II Kompor 300 w	6	1.521
3.	III Kompor 300 w	5	1.267,5
4.	IV Kompor 300 w	4	1.014
5.	V Kompor 300 w	1,5	380,25
6.	VI Kompor 300 w	1	253,5
Total			Rp. 11.534,25

Setiap jamnya, dilakukan penggantian air pendingin dengan jumlah separuh dari kapasitas bak/ember yang digunakan sebagai wadah airnya

Tabel 8. Rincian Biaya Air

No	Distilasi ke-	Waktu (jam)	Air (L)	Jumlah air (L)	Harga Rp.6/liter
1.	I	7	4	28	Rp. 168
2.	II	6	1,5	9	Rp. 54
3.	III	5	1,5	7,5	Rp. 45
4.	IV	4	1,5	6	Rp. 36
5.	V	1,5	1,5	2,25	Rp. 13,5
6.	VI	1	1,5	1,5	Rp. 9
Total					Rp. 325,5

Tabel 9. Rincian Biaya Es Batu

No	Distilasi ke-	Waktu (jam)	Es batu (kg)	Total
1.	I	7	8	Rp. 8.000
2.	II	6	7	Rp. 7.000
3.	III	5	6	Rp. 6.000
4.	IV	4	4	Rp. 4.000
5.	V	1,5	2	Rp. 2.000
6.	VI	1	1,5	Rp. 1.500
Total				Rp. 28.500

Pada satu kali proses distilasi skala besar memerlukan 40 gram garam krosok, 25 gram *silica gel* dan 30 gram batu kapur sehingga biaya listrik dapat dihitung melalui tabel berikut:

No	Distilasi ke-	Jumlah (gram)	Total
1.	IV (Garam Rp. 5/gr)	40	Rp. 200
2.	V (<i>Silica gel</i> Rp. 40/gr)	25	Rp. 1.000
3.	VI (Batu kapur Rp. 1,25)	30	Rp. 37,5
Total			Rp. 1.237,5

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan 330 ml bioetanol dengan kadar 96,5% dibutuhkan biaya produksi Rp.46.097,25 Sehingga harga 1 liter bioetanol berbahan baku limbah nasi basi adalah:

$$330 \text{ ml} = \text{Rp. } 46.097,25$$

$$1000 \text{ ml} = \text{Rp. } \dots\dots??$$

$$330 \text{ ml} \times \text{Rp.} \dots = 1000 \text{ ml} \times \text{Rp. } 46.097,25$$

$$\text{Rp.} \dots = \frac{1000 \text{ ml} \times \text{Rp. } 46.097,25}{330 \text{ ml}}$$

$$= \text{Rp. } 139.688$$

Jadi harga bioetanol dari limbah nasi basi kadar 96,5% adalah Rp.139.688 per liter lebih mahal dibanding dengan harga di pasaran saat ini yang mencapai Rp. 55.000 (Sumber Jalan Tidar Toko Kimia).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, pengujian dan analisa yang telah dilakukan terhadap pembuatan bioetanol dari limbah nasi basi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Perbandingan terbaik adalah 250 gram nasi basi, 1000 ml air dan 9 gram ragi dengan waktu fermentasi 5 hari yang menghasilkan kadar bioetanol 28%. Pembuatan bioetanol skala besar dengan perbandingan 1:5 sehingga menjadi 1250 gram limbah nasi, 5000 ml air, 45 gram ragi menghasilkan 1250 ml bioetanol. Selanjutnya diperlukan 6 kali distilasi untuk mencapai kadar bioetanol >95%.

- b. Pembuatan bioetanol skala besar dengan bahan baku 1 kg limbah nasi basi menghasilkan 264 ml dengan kadar 96,5% sehingga untuk memperoleh bioetanol dari limbah nasi basi sebanyak 1 liter membutuhkan 4 kali pembuatan skala besar dan 4 kg bahan baku nasi basi.
- c. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik, apabila dibandingkan dengan standar baku mutu Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi Tahun 2013, bioetanol limbah nasi basi belum memenuhi standar karena ada beberapa parameter yang belum mencapai standar yaitu kadar air dikarenakan pada bahan baku nasi basi sudah mengandung kadar air sebesar 57% dan kadar belerang pada batas maksimal yang diijinkan diduga karena pada alat distilasi skala besar terbuat dari paduan berbagai logam sehingga menyebabkan logam dalam ukuran kecil ikut tercampur dalam bioetanol.
- d. Secara perhitungan ekonomis, bioetanol dari limbah nasi basi belum layak dijual karena lebih mahal yaitu Rp.139.688/Liter dibandingkan bioetanol yang dijual di pasaran yaitu Rp.55.000/Liter. Hal tersebut dikarenakan pada pembuatan bioetanol ini masih dalam skala kecil sehingga biaya listrik dan es batu menjadi penyebab mahalnya harga bioetanol dari limbah nasi basi.

SARAN

- a. Perlu dilakukan pengujian kandungan bahan pada batu kapur sebagai zat penyerap kadar air sehingga dapat diketahui kadar air yang terkandung di dalam batu kapur
- b. Perlu dilakukan aktifasi pada batu kapur dengan cara disangrai supaya kadar air yang terdapat di dalamnya dapat hilang.
- c. Perlu dilakukan penimbangan berat awal batu kapur sebelum digunakan dan berat akhir sesudah digunakan supaya dapat diketahui kadar air yang tertangkap oleh batu kapur.
- d. Perlu dilakukan pembuatan granul dengan cara pengayakan agar batu kapur lebih halus, ukuran *mesh* seragam serta porositas yang ideal sehingga dapat menyerap air lebih maksimal.
- e. Untuk meminimalisir biaya produksi, biaya es batu dapat diganti dengan menggunakan aliran pendinginan yang disirkulasikan dalam wadah yang lebih besar serta penggantian biaya listrik menggunakan mesin *steam*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zainal. 2016. *Bahan Bakar dari Limbah Pabrik Gula Blotong*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Anna Poedjaji. 1994. *Dasar-dasar biokimia*. Jakarta: UI Press.
- ASTM International _____. 2002. *Annual Book of ASTM Standards Section Five Petroleum Product, Lubricants, and Fossil Fuels*. USA: Baltimore.
- Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas _____. 2005. *Komoditas Bahan Bakar Minyak*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional _____. 2012. *Bioetanol Terdenutrasasi untuk Gasohol*. (online), (http://ozziapps.com/ebtke/bioenergi/upload/file/SNI_73902012_Bioetanol_Terdenutrasasi_untuk_Gasohol.pdf diakses pada 17 Januari 2017).
- Brown, George Granger. 1950. *Unit Operation*. Tokyo: Modern Asia Edition.
- Direktorat Bioenergi Dirjen EBTKE Kementerian ESDM _____. 2013. *Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Bioetanol*, Jakarta.
- Erika, Wenda. 2011. *Pembuatan Bioethanol dari Pemanfaatan Limbah Tepung Beras Pabrik Rose Brand*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardjono, A. 2001. *Teknologi Minyak Bumi*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hasanah, Nur. 2015. *Artikel Ilmiah Mikrobiologi Mikroba Patogen pada Nasi Basi*. (online), (<https://nurhabio.wordpress.com/2015/04/25/artikel-ilmiahmikrobiologi-mikroba-patogen-pada-nasi-basi-basillusceus/>), diakses pada 13 Januari 2017).
- Hasanudin. 2015. *Bahan Bakar Fosil*. (online), (<http://kimiadasar.com/bahan-bakar-fosil/> diakses pada 11 Januari 2017).
- Huri, Adam. 2016. *Kandungan Gizi Nasi Putih*. (online), (<http://necturajuice.com/kandungan-gizi-dan-manfaat-nasi-putih/> diakses pada 12 Januari 2017).
- Jannah, Asyeni Miftahul. 2010. "Proses Fermentasi Hidrolisat Jerami Padi untuk Menghasilkan Bioetanol". *Jurnal Penelitian Teknik Kimia Universitas Sriwijaya*. Vol. 17 (1): hal. 47.
- Nurya dan Fajar. 2013. *Bioetanol Gel Nasi Basi (Biogenasi) Sebagai Energi Alternatif Ramah Lingkungan Sebagai Langkah Pemanfaatan Limbah Nasi Bekas*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Perry, Robert H. 1984. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. Singapura: McGraw-Hill.
- Prihandana, Rama. 2007. *Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta: PT. Agro Media Pustaka.
- Riadi, Lieke. 2007. *Teknologi Fermentasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Schlegel, Hans. 1994. *Mikrobiologi Umum*. Edisi keenam. Terjemahan Tedjo Baskoro. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Shreve, R. N., & Brink Jr, J. A. 1977. *Chemical Process Industries*. (edisi ke empat). Kogakusha: McGraw-Hill.
- Sugiarto, Himawan. 2016. *Pemanfaatan Limbah Ledre sebagai Bahan Bakar Alternatif Bioetanol*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Sugiyono. 2015. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Sukandi, Nona dkk. 2013. *Sintesis lkohol dari Limbah Nasi Rumah Makan Melalui Proses Hidrolisis dan Fermentasi*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Suprayogi, Dedy. 2007. *Pengaruh Lama Waktu Penggunaan Magic Jar Terhadap Perubahan Kualitas Nasi yang Meliputi Bau, Warna, Tekstur dan Rasa*. (online), (<http://repository.unair.ac.id/22247/> diakses pada 27 Januari 2017).
- Sutjahjo, Dwi Heru. 2007. *Diktat Kuliah Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Syarief, R. dan H. Halid. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Jakarta: Arcan.
- Tim Penyusun Buku Pedoman. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Wikipedia Indonesia _____. 2016. *Bahan Bakar Alternatif*. (online), (https://id.wiki_pedia.org/wiki/Energi_alternatif diakses 09 Januari 2017).
- Wikipedia Indonesia _____. 2016. *Etanol*. (online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Etanol> diakses pada 11 Januari 2017).
- Wikipedia Indonesia _____. 2016. *Silica Gel*. (online), (https://id.wikipedia.org/wiki/Gel_silika diakses pada 14 April 2017).
- Winkle, Matthew Van. 1967. *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Yuher, Seprendi. 2015. *Fermentasi*. (online), (http://ilmubiologisma.blog_spot.co.id diakses pada 28 Januari 2017).